高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡生长性能、血清抗氧化指标及肠道结构的影响

赵建飞　胡贵丽　唐千甯　宋泽和　范志勇　贺　喜*

（湖南农业大学动物科学技术学院，饲料安全与高效利用教育部工程研究中心，湖南畜禽安全生产协同创新中心，长沙 410128)

摘　要：本试验旨在研究高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡生长性能、血清抗氧化指标及肠道结构的影响。试验选取 1 日龄体重相近的健康良凤花肉鸡公鸡 900 只，随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 30 只鸡。对照组饲喂基础饲粮，试验组分别饲喂高粱型饲粮（高粱组）、高粱型饲粮+复合酶（高粱+复合酶组）、高粱型饲粮+益生菌（高粱+益生菌组）和高粱型饲粮+复合酶+益生菌（高粱型+复合酶+益生菌组）。试验期为 56 d，分为试验前期（1~28 日龄）和试验后期（29~56 日龄）。试验结束后测定试验鸡生长性能、血清抗氧化指标和肠道形态。结果表明：1）试验前期，各试验组肉鸡平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）均显著低于对照组（$P<0.05$）；试验后期和试验全期（1~56 日龄），除高粱+复合酶组外，其余各试验组肉鸡 ADFI 和平均日增重（ADG）均显著低于对照组（$P<0.05$）。2）与对照组相比，第 28 天高粱组肉鸡血清总超氧化物歧化酶（T-SOD）活性显著降低（$P<0.05$），其余各组之间无显著差异（$P>0.05$）；第 56 天各组之间肉鸡血清抗氧化指标均差异不显著（$P>0.05$）。3）第 28 天，除高粱组外，其他各试验组肉鸡十二指肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度（V/C）值均显著高于对照组（$P<0.05$）；第 56 天，各试验组肉鸡十二指肠、空肠、回肠的绒毛高度、隐窝深度及 V/C 值与对照组均无显著差异（$P>0.05$）。

收稿日期：2017-11-28
基金项目：国家重点研发计划（2016YFD0501209）；科技部科技基础性工作专项（2014FY111000-3）
作者简介：赵建飞（1993-），男，四川南充人，硕士研究生，研究方向为饲料资源开发与利用。E-mail: 951085422@qq.com
*通信作者：贺　喜，教授，博士生导师，E-mail: hexi111@126.com

综上所述，在饲粮中用高粱替代玉米，显著降低了良凤花肉鸡的生长性能，而在高粱型饲粮中添加复合酶能获得与对照组相当的生长性能，在高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡的肠道形态结构和血清抗氧化指标均无不良影响。

关键词：高粱；复合酶；益生菌；生长性能；抗氧化指标；肠道形态

中图分类号：S831.5

近年来，我国养殖业的快速发展带动了对饲料需求的迅速增加。目前，饲料资源短缺问题已成为制约我国畜牧业发展的重要瓶颈因素[1]。玉米是我国主要的饲料原料，但受到各种因素的影响，导致饲用玉米日趋短缺，并且价格浮动较大。为了保证畜牧业与饲料行业更加持续、稳定、健康发展，合理利用非常规饲料资源已成为业内越来越关注的热点。在一些国家，高粱作为能量饲料原料已经被广泛应用于养殖业中，而国内高粱的使用范围还比较局限。由于高粱中一些抗营养因子和蛋白包膜的存在，如植酸、单宁和醇溶蛋白等，也影响了高粱中营养物质的消化利用[2]。Cowieson 等[3]研究了高粱型饲粮中添加植酸酶和木聚糖酶-淀粉酶-蛋白酶复合酶及它们联用的效果，结果显示，将植酸酶与它们联用后显著提高了肉鸡的生长性能。Avila 等[4]的试验结果表明，试验后期添加非淀粉多糖（NSP）复合酶制剂极显著提高了肉鸡的平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）和料重比（F/G）。目前，关于复合酶和益生菌在高粱型饲粮中联用的研究还较少报道。为此，本试验拟通过在肉鸡高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌，研究其对良凤花肉鸡生长性能、血清抗氧化指标和肠道形态的影响，为高粱在养殖业中更好的应用提供科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

试验中所用高粱为美国进口高粱，购于岳阳港口。

复合酶为高粱专用复合酶，由北京某公司提供，含有单宁酶（2 000 U/g）、木聚糖酶（20 000 U/g）、β-甘露聚糖酶（1 500 U/g）、蛋白酶（3 000 U/g）、淀粉酶（500 U/g）。

益生菌为芽孢杆菌制剂，含枯草芽孢杆菌，由山东某公司提供，有效活菌含量≥2.97×10^{10} CFU/g。

1.2 试验设计与饲粮

选择 900 只 1 日龄良凤花肉鸡公鸡，由湖南湘佳牧业股份有限公司提供，按平均体重一致原则随机分为 5 个组，每组 6 个重复，每个重复 30 只鸡。

试验采用玉米-豆粕型饲粮为基础饲粮，参照 NRC(1994)和《鸡饲养标准》（NY/T 33-2004）中的肉鸡营养需要配制饲粮，分为试验前期（1～28 日龄）和试验后期（29～56 日龄）2 个阶段，试验饲粮组成及营养水平见表 1。对照组饲喂基础饲粮，试验组分别饲喂高粱型饲粮（高粱组）、高粱型饲粮+复合酶（高粱+复合酶组）、高粱型饲粮+益生菌（高粱+益生菌组）和高粱型饲粮+复合酶+益生菌（高粱型+复合酶+益生菌组）。试验前期高粱型饲粮为高粱替代基础饲粮中 30%玉米，添加 200 g/t 复合酶；后期替代 50%玉米，添加 300 g/t 复合酶；试验全期（1～56 日龄）均为添加 100 g/t 益生菌。试验鸡采用粉料饲喂，试验期 56 d。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	1~28 日龄 1 to 28 days of age		29~56 日龄 29 to 56 days of age	
	对照组 Control group	试验组 Experimental group	对照组 Control group	试验组 Experimental group
原料 Ingredients				
玉米 Corn	63.05	43.35	65.00	32.30
高粱 Sorghum		19.00		32.00
豆粕 Soybean meal	26.50	26.50	21.00	20.50
大米蛋白粉 Rice protein meal	3.00	3.00	3.00	3.00

菜籽粕 Rapeseed meal	2.00	2.00	3.00	3.00
豆油 Soybean oil	0.70	1.40	3.50	4.70
石粉 Limestone	1.45	1.45	1.40	1.40
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	1.30	1.30	1.10	1.10
预混料 Premix[1)]	2.00	2.00	2.00	2.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrition levels[2)]				
代谢能 ME/(MJ/kg)	12.13	12.13	12.89	12.89
粗蛋白质 CP	19.81	19.94	17.78	17.81
粗脂肪 EE	3.73	4.35	6.51	7.58
钙 Ca	0.94	0.96	0.86	0.90
非植酸磷 Non-phytate phosphorus	0.44	0.45	0.40	0.42
食盐 NaCl	0.36	0.38	0.26	0.29
赖氨酸 Lys	1.12	1.13	1.02	1.02
蛋氨酸 Met	0.48	0.48	0.43	0.42
苏氨酸 Thr	0.73	0.73	0.73	0.73
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.66	0.64	0.74	0.70

[1)] 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets: Cu 25 mg，Fe 96 mg，Mn 105.4 mg，Zn 98 mg，Na 0.9 mg，VA 1 200 IU，VD_3 2500 IU，VE 20 mg，VK_3 3.0 mg，VB_1 3.0 mg，VB_2 8.0 mg，VB_6 7.0 mg，VB_{12} 0.03 mg，泛酸 pantothenic acid 20.0 mg，烟酸 niacin 50.0 mg，生物素 biotin 0.1 mg，叶酸 folic acid 1.5 mg。

[2)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

1.3　饲养管理

试验鸡采用复层式笼养，舍内采用锅炉控温（第 1 天 33 ℃，第 1 周 30～32 ℃，第 2 周 27～29 ℃，第 3 周 24～26 ℃，之后保持在 20～21 ℃），人工持续光照，自然通风，乳头式饮水器饮水。粉料饲喂，自由采食和饮水，常规免疫，观察鸡只采食情况和健康状态。

1.4　测定指标与方法

1.4.1　生长性能测定

试验期内观察试验鸡生长和健康状况，以每个重复为单位，记录耗料量，并于试验鸡 28、56 日龄时空腹 8 h 后称重，计算各组试验鸡的 ADG、ADFI 和 F/G。

1.4.2　血清抗氧化指标

试验鸡饲养试验 28、56 日龄时分别从各组每个重复选择 1 只接近该组平均体重的试验鸡进行颈部放血，取 6 mL 血液置于 10 mL 采血管中，37 ℃静置 30 min 后 3 000 r/min 离心 15 min 取血清，保存于-20 ℃待测。检测血清中过氧化氢酶（CAT)、总超氧化物歧化酶（T-SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶（GSH-Px)活性以及总抗氧化能力（T-AOC）和丙二醛（MDA）含量，试剂盒均购自南京建成生物工程研究所。

1.4.3　肠道组织形态结构

试验鸡屠宰后取十二指肠 U 状弯曲处、空肠和回肠中段各 1 cm 长肠段 1 份，放入装有 10％甲醛溶液中固定，用于肠道组织切片。固定的肠道样品经冲洗、脱水、透明、透蜡、包埋、修块后，切成 6 μm 厚的切片，苏木精-伊红（HE）染色，最后中性树脂封片。之后用显微镜在 100、250 和 400 倍下随机选择多个非连续性视野观察切片，并在 100 倍下挑选典型视野拍摄成图片，比较各组肉鸡肠绒毛形态结构发育状况。用图象分析软件系统进行观察分析，测量绒毛高度（villus height, VH）和隐窝深度(crypt depth, CD)，并计算绒毛高度/隐窝深度（V/C）值。

1.5　数据分析

数据通过 SPSS 19.0 统计软件进行分析，采用 one-way ANOVA 程序进行单因素方差分析，Duncan 氏法进行多重比较。*P*＜0.05 为显著差异。试验结果以“平均值±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡生长性能的影响

由表 2 可见，试验前期，与对照组相比，高粱组的肉鸡 ADFI 和 F/G 显著降低（*P*<0.05）；而与高粱组相比，高粱+复合酶组、高粱+益生菌组、高粱+复合酶+益生菌组的肉鸡 ADFI 无显著差异（*P*>0.05），F/G 显著降低（*P*<0.05），且 ADFI 和 F/G 均显著低于对照组（*P*<0.05）。各组之间肉鸡 ADG 差异不显著（*P*>0.05）。

试验后期和试验全期，与对照组相比，高粱组的肉鸡 ADFI 和 ADG 显著降低（*P*<0.05）；而与高粱组相比，高粱+复合酶组的肉鸡 ADFI 和 ADG 显著提高（*P*<0.05），且与对照组差异不显著（*P*>0.05）。各组之间肉鸡 F/G 差异不显著（*P*>0.05）。

表 2　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡生长性能的影响

Table 2　Effects of supplementation with compound enzyme and probiotics in sorghum diets on growth performance of *Liangfenghua* broilers

	试验组 Experimental groups					
项目 Items	对照组 Control group	高粱组 Sorghum group	高粱+复合酶组 Sorghum+compound enzyme group	高粱+益生菌组 Sorghum+probiotics group	高粱+复合酶+益生菌组 Sorghum+compound enzyme+probiotics group	*P* 值 *P*-value

1～28 日龄 1～28 days of age	平均日增重 ADG/g	23.87±0.29	23.61±0.37	24.13±0.36	24.05±0.43	23.71±0.36	0.106
	平均日采食量 ADFI/g	38.40±0.61^{a}	37.27±0.53^{b}	37.36±0.54^{b}	37.16±0.53^{b}	36.86±0.50^{b}	0.002
	料重比 F/G	1.61±0.02^{a}	1.58±0.01^{b}	1.55±0.02^{c}	1.55±0.01^{c}	1.55±0.01^{c}	＜0.001
29～56 日龄 29～56 days of age	平均日增重 ADG/g	45.96±1.34^{a}	44.12±0.68^{b}	45.48±0.73^{a}	41.71±0.68^{c}	42.22±0.52^{c}	＜0.001
	平均日采食量 ADFI/g	108.89±3.70^{a}	103.87±1.59^{b}	107.21±3.29^{a}	100.96±1.33^{b}	101.51±1.28^{b}	＜0.001
	料重比 F/G	2.36±0.04	2.35±0.03	2.38±0.04	2.41±0.07	2.40±0.04	0.293
1～56 日龄 1～56 days of age	平均日增重 ADG/g	34.77±0.81^{a}	33.64±0.36^{b}	34.38±0.80^{a}	32.61±0.38^{c}	32.82±0.39^{c}	＜0.001
	平均日采食量 ADFI/g	73.42±2.45^{a}	69.90±0.98^{b}	71.87±1.99^{a}	67.93±1.24^{b}	68.45±0.87^{b}	＜0.001
	料重比 F/G	2.12±0.03	2.08±0.02	2.09±0.03	2.08±0.04	2.09±0.03	0.243

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著（P<0.05），相同或无字母表示差异不显著（P>0.05）。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

2.2　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡血清抗氧化指标的影响

由表 3 可见，28 日龄时，与对照组相比，高粱组肉鸡血清 T-SOD 活性显著降低（P<0.05）；而与高粱组相比，高粱+复合酶组、高粱+益生菌组、高粱+复合酶+益生菌组肉鸡血清 T-SOD 活性显著降低（P<0.05），且与对照组差异不显著（P>0.05）。28 和 56 日龄时，各组之间

血清 CAT、GSH-Px 活性以及 MDA 含量和 T-AOC 差异均不显著（P>0.05）。

表 3　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡血清抗氧化指标的影响

Table 3　Effects of supplementation with compound enzyme and probiotics in sorghum diets on serum antioxidant indexes of *Liangfenghua* broilers

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental groups				*P* 值 *P*-value
		高粱组 Sorghum group	高粱+复合酶组 Sorghum+compound enzyme group	高粱+益生菌组 Sorghum+probiotics group	高粱+复合酶+益生菌组 Sorghum+compound enzyme+probiotics group	
28 日龄 28 days of age						
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	54.83±9.53	58.13±36.46	57.95±26.76	65.30±22.11	58.50±20.09	0.975
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mL)	197.54±13.07^{a}	170.42±18.60^{b}	201.69±20.21^{a}	204.01±16.36^{a}	203.57±18.91^{a}	0.035
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	1.49±1.12	1.75±1.13	2.68±1.00	1.16±035	2.91±0.57	0.130
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	8.72±2.21	8.20±2.03	9.95±4.66	9.56±4.71	9.11±2.52	0.920
谷胱甘肽过氧化物酶	970.23±118.42	1	1 283.42±34.97	1 100.97±198.95	1 126.78±204.11	0.195

GSH-Px/（U/mL）		070.09±324.83				
56 日龄 56 days of age						
过氧化氢酶 CAT/（U/mL）	42.64±10.57	40.10±22.10	55.83±10.65	55.66±5.70	58.11±13.86	0.142
总超氧化物歧化酶 T-SOD/（U/mL)	189.03±9.09	194.98±21.03	204.98±18.27	201.40±18.94	199.01±20.57	0.632
丙二醛 MDA/（nmol/mL）	2.90±1.59	3.80±3.61	3.67±2.04	2.40±1.32	2.97±0.95	0.845
总抗氧化能力 T-AOC/（U/mL）	8.17±3.31	8.01±2.02	8.60±2.35	8.65±1.47	10.38±1.65	0.598
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/（U/mL）	1 893.83±549.78	1 992.73±132.48	2 035.24±364.46	2 196.92±1103.96	2 363.33±472.58	0.790

2.3 高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡肠道形态结构的影响

由表 4 可见，28 日龄时，与对照组相比，高粱组肉鸡十二指肠绒毛高度和 V/C 值无显著差异（$P<0.05$）；而与对照组和高粱型组相比，高粱+复合酶组、高粱+益生菌组、高粱+复合酶+益生菌组肉鸡十二指肠绒毛高度和 V/C 值显著提高（$P<0.05$）。28 和 56 日龄时，各组之间十二指肠隐窝深度，空肠、回肠的绒毛高度、隐窝深度和 V/C 值差异均不显著（$P>0.05$）。

表 4　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡肠道形态结构的影响

Table 4　Effects of supplementation with compound enzyme and probiotics in sorghum diets on intestinal morphologic structure of *Liangfenghua* broilers

项目 Items			对照组 Control group	试验组 Experimental groups				*P* 值 *P*-value
				高粱组 Sorghum group	高粱+复合酶组 Sorghum+compound enzyme group	高粱+益生菌组 Sorghum+probiotics group	高粱+复合酶+益生菌组 Sorghum+compound enzyme +probiotics group	
28 日龄 28 days of age	十二指肠 Duodenum	绒毛高度 Villus height/μm	1 042.35±14.31^{b}	917.64±75.91^{b}	1 518.29±197.21^{a}	1 430.39±41.67^{a}	1 340.16±96.66^{a}	0.002
		隐窝深度 Crypt depth/μm	213.36±10.96	187.88±21.93	211.00±27.37	231.52±18.20	210.40±6.55	0.157
		绒毛高度/隐窝深度 Villus height/crypt depth	5.12±0.30^{b}	5.05±0.37^{b}	6.30±0.78^{a}	6.20±0.51^{a}	6.37±0.52^{a}	0.037

	空肠 Jejunum	绒毛高度 Villus height/μm	1 215.80±316.10	1 082.65±297.36	1 004.41±266.78	1 103.11±155.77	1 177.05±226.61	0.867
		隐窝深度 Crypt depth/μm	224.49±51.13	215.48±25.31	184.56±40.04	195.91±28.45	200.64±8.69	0.635
		绒毛高度/隐窝深度 Villus height/crypt depth	5.38±0.29	4.97±0.76	5.40±0.44	5.63±0.05	5.85±0.95	0.488
	回肠 Ileum	绒毛高度 Villus height/μm	750.61±112.66	750.25±84.55	835.91±93.29	820.30±100.61	822.53±72.47	0.670
		隐窝深度 Crypt depth/μm	156.24±26.80	168.44±26.93	161.30±8.60	179.67±17.08	147.68±22.79	0.475
		绒毛高度/隐窝深度 Villus height/crypt depth	4.84±0.54	4.48±0.27	5.17±0.32	4.63±0.98	5.61±0.45	0.184
56 日龄 56 days of age	十二指肠 Duodenum	绒毛高度 Villus height/μm	1 436.42±386.25	1 240.80±243.61	1 252.51±255.24	1 233.19±260.84	1 289.73±147.17	0.875
		隐窝深度 Crypt depth/μm	172.70±31.53	166.13±4.37	190.85±18.20	186.70±52.13	199.24±36.86	0.734
		绒毛高度/隐窝深度 Villus height/crypt depth	8.22±0.84	7.46±1.42	6.54±0.95	6.83±1.68	6.58±1.00	0.441
	空肠	绒毛高度 Villus height/μm	996.53±221.81	1 092.60±119.85	1 053.75±192.77	1 072.15±115.29	846.38±50.86	0.344

Jejunum	隐窝深度 Crypt depth/μm	147.54±23.72	178.90±11.01	151.25±18.05	193.51±38.78	133.80±19.67	0.067
	绒毛高度/隐窝深度 Villus heihgt/crypt depth	6.73±0.90	6.14±0.95	7.13±1.99	5.62±0.63	6.43±1.20	0.639
回肠 Ileum	绒毛高度 Villus height/μm	682.79±81.86	647.15±20.75	712.98±250.85	754.68±110.15	644.11±134.12	0.855
	隐窝深度 Crypt depth/μm	113.29±17.71	119.30±10.21	135.11±40.65	117.58±2.96	123.49±12.20	0.760
	绒毛高度/隐窝深度 Villus height/crypt depth	6.05±0.28	5.45±0.40	5.29±1.31	6.42±0.89	5.18±0.60	0.312

3

2.4　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡经济效益的影响

由表 5 可见，与对照组相比，高粱+复合酶组具有最佳的经济效益，其余各试验组的经济效益均低于对照组。由此可见，在玉米价格高涨，高粱价格较低的情况下，在高粱型饲粮中添加复合酶可以有效提高肉鸡的经济效益。

表 5　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡经济效益的影响（按 1000 只鸡算）

Table 5　Effects of supplementation with compound enzyme and probiotics in sorghum diets on economic benefit of *Liangfenghua* broilers　（calculated as 1 000 birds）

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Experimental groups			
		高粱组 Sorghum group	高粱+复合酶组 Sorghum+compound enzyme group	高粱+益生菌组 Sorghum+probiotics group	高粱+复合酶+益生菌组 Sorghum+compound enzyme+probiotics group
前期饲料 Starter feed/(元/kg)	2.765 0	2.690 2	2.694 6	2.691 8	2.696 2
后期饲料 Later feed/(元/kg)	2.789 2	2.657 6	2.664 2	2.659 2	2.665 8
全期饲料成本 Full feed cost/元	11 173.26	10 260.60	10 530.75	10 049.53	10 089.04
鸡体重 Broilers body weight/kg	1 946.02	1 883.82	1 924.73	1 833.03	1 845.91

利润 Profit/元	25 747.14	25 415.80	25 963.85	24 611.07	24 829.16
比值 Ratio/%	100.00	98.71	100.84	95.59	96.43

表中的饲料成本以原料市场价计算而得，玉米价格 2.58 元/kg，高粱价格 2.1 元/kg。

Feed costs in the table are calculated based on the raw material market price, corn price is 2.58 RMB/kg and sorghum price is 2.1 RMB /kg.

3 讨 论

3.1 高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡生长性能

采食量是衡量动物摄入营养物质数量的尺度，只有在动物摄入的营养物质满足维持基本需要后，多摄入的部分才会用于生产。因此，采食量是影响动物生产水平的重要因素[5-6]。本试验结果表明，在试验前期，试验组 ADFI 下降，说明肉鸡饲粮中添加高粱降低了肉鸡的 ADFI，这可能是由于高粱中含有味道苦涩的单宁而降低了饲粮的适口性。各组间的肉鸡 ADG 虽差异不显著，但高粱+复合酶组和高粱+益生菌组却有升高的趋势。高粱+复合酶组、高粱+益生菌组和高粱+复合酶+益生菌组的肉鸡 F/G 显著升高，说明在高粱型饲粮中添加复合酶、益生菌及二者同时添加对肉鸡前期的生长有一定的促进作用。王政等[7]研究表明，芽孢杆菌可改善雏鸡肠道微生物区系，促进雏鸡的消化吸收并提高活体重。在本试验前期，与对照组相比，用高粱替代 30%的玉米显著降低了动物的 ADFI 和 F/G，这说明虽然高粱中的单宁使得肉鸡采食量下降，但用高粱替代玉米并不影响肉鸡前期的 ADG，还能降低肉鸡前期的 F/G，表明前期用高粱替代 30%的玉米是完全可行的，并且前期用高粱替代玉米对肉鸡的生长性能有一定的促进作用。而在高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌并没有提高肉鸡的采食量，并且同时添加复合酶和益生菌的试验组采食量最低，具体原因尚不清楚，可能是添加复合酶和益生菌提高了肉鸡能量的利用率，从而间接降低了动物的采食量；还有可能是因为

肉鸡前期生长速度快，但消化系统尚未发育成熟，内源酶分泌不足，消化吸收水平低下，跟不上机体生长需求，成为制约肉鸡早期生长的限制性因素[8]。而在饲粮中添加复合酶和益生菌可以产生一些营养物质，并且获得较高的淀粉酶、蛋白酶活性，还能够获得一些自身不能分泌的酶类，增强机体的免疫水平，使得肉鸡的消化吸收功能得到完善，提高对养分的消化利用率，从而提高了肉鸡前期的生长性能，本试验也发现同时添加复合酶和益生菌显著提高了肉鸡 F/G。综合试验前期数据表明，用高粱替代 30%的玉米对肉鸡前期的生长性能有促进作用，并且在高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌能进一步促进肉鸡前期生长性能的提高，但同时添加有可能导致适口性下降，单独添加复合酶的试验组效果最佳，原因有可能是因为其中含有单宁酶，能够降低单宁的抗营养作用。

从试验全期的数据来看，各试验组之间，高粱+复合酶组各项生长性能指标最优，虽然各组间 F/G 无显著差异，但各试验组的 F/G 却整体低于对照组，说明用高粱替代玉米，降低了肉鸡的 F/G。Jiraphocakul 等[9]在肉鸡饲粮中添加枯草芽孢杆菌，结果并没有影响肉鸡的增重和 F/G。有研究用不同浓度的复合微生态制剂饲喂武定雏鸡，结果表明添加不同浓度的复合微生态制剂对武定雏鸡的生长性能均有不同程度的提高[10]。本试验结果表明，在高粱型饲粮中添加复合酶可以提高肉鸡的生长性能，提示可以进一步筛选酶制剂和益生菌种类，对酶制剂和益生菌进行更加合理的搭配以达到更优的效果。

3.2　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡肠道形态结构的影响

小肠的正常功能与结构是动物正常生长和养分消化吸收的生物学基础，而小肠的绒毛高度、隐窝深度及绒毛表面积是衡量小肠消化吸收功能的重要标志。Varel 等[11]报道，小肠的肠绒毛高度、隐窝深度、薄膜厚度及绒毛表面积是衡量小肠消化吸收功能的重要指标。绒毛高度增加后会使小肠接触营养物质的面积增大，从而增强小肠对营养物质的吸收，所以肠绒毛的形态与机体的生长发育有直接的关系[12]。隐窝深度反映了细胞生成率,不断有细胞从隐窝基部向绒毛端部迁移、分化，形成具有吸收能力的绒毛细胞，以补充绒毛上皮的正常脱落。

如果此过程减慢，则基部的细胞生成率降低，使隐窝变浅[13]，这种现象说明肠上皮细胞成熟率上升，其吸收营养物质的功能增强。而 V/C 值可综合反映小肠的功能状况，V/C 值增高则表明消化吸收功能增强[14]。

石宁[15]研究报道，饲粮中添加地衣芽孢杆菌及低聚木糖，分别提高了空肠的绒毛高度，降低了隐窝深度，但差异较对照组均不显著。仵天培[16]试验发现，饲粮中添加果寡糖、非淀粉多糖酶（木聚糖酶+β-甘露聚糖酶）和枯草芽孢杆菌均可以改善广西三黄鸡的肠道形态，在一定程度上均可提高小肠绒毛的高度，提高 V/C 值，降低肠壁厚度。雷丽[17]研究发现，小麦基础饲粮中添加木聚糖酶能降低十二指肠肠壁厚度，增加回肠的绒毛高度，但对空肠形态无改善作用。本试验结果表明，高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡的小肠形态结构起到一定的改善，有促进消化吸收的作用，进而改善生长性能。

3.3　高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡血清抗氧化指标的影响

动物体内的抗氧化系统主要分为非酶类抗氧化系统和酶类抗氧化系统。非酶类主要包括硒、谷胱甘肽（GSH）、维生素 E 和维生素 C 等；酶类包括 GSH-Px、超氧化物歧化酶（SOD）和 CAT 等[18]。而评定抗氧化能力除了通过测定以上各种酶类在血清、肝脏中的活性，还可以对其过氧化产物含量进行测定，例如 MDA、羟基和羰基等，从而可以对其抗氧化能力进行一个综合性的评价[19]。当机体内的自由基增多时，机体就有氧化反应发生，为了清除过多的自由基，体内清除自由基的抗氧化酶类就会增多。而体内抗氧化酶的变化状况可以间接的反映体内氧化应激过程[20]。

MDA 是脂质过氧化反应的终产物，通过测定 MDA 的含量可以判断脂质过氧化的程度，从而判断细胞损伤程度。SOD 可以防止自由基损害，通过测定其活性可以得出机体清除自由基的能力。GSH-Px 是细胞内过氧化氢和脂质自由基的清除剂。CAT 是催化过氧化氢分解成氧和水的酶，可以防止肉质氧化。本试验结果显示，高粱型饲粮会降低肉鸡前期的抗氧化能力，对肉鸡后期抗氧化能力影响不大。

4 结 论

在饲粮中用高粱替代玉米，降低了良凤花肉鸡的生长性能，影响了前期的肠道形态结构。在高粱型饲粮中添加复合酶和益生菌对良凤花肉鸡的肠道形态结构和血清抗氧化指标均无不良影响，且高粱型饲粮中添加复合酶制剂能获得与对照组相当的生长性能并拥有最佳的经济效益。

参考文献：

[1] 张振磊,路雨.非常规饲料资源的开发和利用[J].饲料广角,2017(01):50-51.

[2] 米雁,朱琳娜,陈国莹,等.酶制剂在高粱基础型日粮中的研究与应用[J].广东饲料,2015,24(8):31-33.

[3] COWIESON A J,ADEOLA O.Carbohydrases,protease,and phytase have an additive beneficial effect in nutritionally marginal diets for broiler chicks[J].Poultry Science,2005,84(12):1860.

[4] AVILA E,ARCE J,SOTO C,et al.Evaluation of an enzyme complex containing nonstarch polysaccharide enzymes and phytase on the performance of broilers fed a sorghum and soybean meal diet[J].Journal of Applied Poultry Research,2012,21(2):279-286.

[5] 杨凤.动物营养学[M].北京：中国农业出版社,2004.

[6] 郭爱伟,周杰珑,朱静,等.复方中草药替代抗生素对肉鸡生产性能及物质代谢的影响[J].江西农业大学学报,2008,30(6):977-980.

[7] 王政,张大伟,齐长海,等.不同添加水平的芽孢杆菌制剂对育雏期蛋鸡肠道微生物区系及部分生理指标的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(05):156-159.

[8] 习海波,姚军虎,陈新科.复合酶制剂对肉鸡生产性能的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2006(1):46-47.

[9] JIRAPHOCAKUL S,SULLIVAN T W,SHAHANI K M.Influence of a dried *Bacillus subtilis*

culture and antibiotics on performance and intestinal microflora in turkeys[J].Poultry Science,1990,69(11):1966-73.

[10] 徐家付.复合微生态制剂对武定雏鸡生长性能及部分免疫指标的影响[D].硕士学位论文.昆明：云南农业大学,2017.

[11] VAREL V H,ROBINSON I M,POND W G.Effect of dietary copper sulfate,Aureo SP250,or clinoptilolite on ureolytic bacteria found in the pig large intestine[J].Applied & Environmental Microbiology,1987,53(9):2009.

[12] CASPARY W F.Physiology and pathophysiology of intestinal absorption[J].American Journal of Clinical Nutrition,1992,55(1):299S-308S.

[13] 王子旭.锌硒互作对肉鸡肠黏膜结构及黏膜免疫相关细胞影响的研究[D].硕士学位论文.北京：中国农业大学,2003.

[14] 刘燕强,韩正康.大麦日粮中添加粗酶制剂对鸡外周血液中代谢激素的影响[J].中国兽医学报,1998,18(6):577-580.

[15] 石宁.地衣芽孢杆菌和低聚木糖及乳酸对肉鸡肠绒组织及肠道菌群的影响[D].硕士学位论文.郑州：河南工业大学,2010.

[16] 仵天培.果寡糖、NSP 酶和益生菌对三黄鸡生产性能、血清指标、肠道形态和菌群的影响[D].硕士学位论文.南宁：广西大学,2012.

[17] 雷丽.木聚糖酶对小麦日粮非淀粉多糖降解规律及其对肉仔鸡肠道组织形态的影响研究[D].硕士学位论文.南京：南京农业大学,2007.

[18] TEMPLE N J.Antioxidants and disease: more questions than answers[J].Nutrition Research,2000,20(3):449-459.

[19] 蒋步云.植物多酚对黄羽肉鸡抗氧化性能及肉品质影响的研究[D].硕士学位论文.长沙：湖南农业大学,2014.

[20]　高天爽.不同比例的高粱日粮对羔羊生产性能及消化代谢的影响[D].硕士学位论文.哈尔滨：东北农业大学,2014.

Effects of Supplementation with Compound Enzymes and Probiotics on Sorghum Diets on Growth Performance, Serum Antioxidant Indexes and Intestinal Morphology of *Liangfenghua* Broilers

ZHAO Jianfei　HU Guili　TANG Qianning　SONG Zehe　FAN Zhiyong　HE Xi*

（*Hunan Co-Innovation Center of Animal Production Safety, Engineering Research Center of Feed Safety and Efficient Use of Ministry of Education, College of Animal Science and Technology*, *Hunan Agricultural University*, *Changsha* 410128*, China*）

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of supplementation with compound enzymes and probiotics on sorghum diets on growth performance, serum antioxidant indexes and intestinal morphology of *Liangfenghua* broilers. A total of 900 healthy one-day-old *Liangfenghua* male broilers with similar body weight were randomly selected and allocated to 5 groups with 6 replicates per group and 30 broilers per replicate. Broilers in the control group were fed a basal diet, and others in the experimental groups were fed sorghum diet (sorghum group), sorghum diet+compound enzyme (sorghum+compound enzyme group), sorghum diet+probiotics (sorghum+probiotics group) and sorghum diet+compound enzyme diet+probiotics (sorghum+compound enzyme+probiotics group), respectively. The experiment lasted for 56 days, and divided into two stages of early stage (1 to 28 days of age) and later stage (29 to 56 days of age). At the end of experiment, the growth performance, serum antioxidant indexes and intestinal

morphology of broilers were evaluated. The results showed as follows: 1) at the early stage, the average daily feed intake (ADFI) and feed to gain ratio (F/G) of broilers in experimental groups were significantly lower than those in control group ($P<0.05$). At the later stage and the whole stage (1 to 56 days of age), the ADFI and the average daily gain (ADG) of broilers in experimental groups (except sorghum+compound enzyme group) were significantly lower than those in control group ($P<0.05$). 2) Compared with the control group, the serum total superoxide dismutase (T-SOD) activity of broilers at 28 days of age in sorghum group was significantly decreased ($P<0.05$), and no significant difference was observed among the rest groups ($P>0.05$). At 56 days of age, there were no significant differences on serum antioxidant indexes of broilers among all groups ($P>0.05$). 3) At 28 days of age, the villus height and villus height/crypt depth (V/C) value in duodenum of broilers experimental groups (except sorghum group) were significantly higher than those in control group ($P<0.05$). At 56 days of age, there were no significant differences on villus height, villus height and V/C value in duodenum, jejunum and ileum of broilers among all groups ($P>0.05$). In conclusion, sorghum instead of corn in the diet significantly reduce the growth performance of *Liangfenghua* broilers, and added compound enzyme in the sorghum diet can obtained the similar growth performance compared the control group, the sorghum diet supplemented with compound enzyme and probiotics have no adverse effects on intestinal morphologic structure and serum antioxidant indexes.

Key words: sorghum; compound enzyme; probiotics; growth performance; serum antioxidant indexes; intestinal morphology

*Corresponding author, professor, E-mail: hexi111@126.com

（责任编辑　武海龙）